

**Projeto de *Layout* Industrial para uma Empresa do Ramo
Metal-Mecânico com Base nos Princípios da Produção
Enxuta**

**Industrial Layout Design for Metal-Mechanic Company
Based on the Principles of Lean Production**

Pablo Vinícius Favaretto

Engenheiro de Produção Mecânica

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

pablofavaretto@bol.com.br

Juliana Kurek

Engenheira Civil, Mestre em Engenharia

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

jkurk@upf.br

Aline Pimentel Gomes

Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

alinegomes1977@hotmail.com

Deise Ieda Caibre

Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

deise_eam@hotmail.com

Adalberto Pandolfo

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

adalbertopandolfo@hotmail.com

Resumo: O presente trabalho apresenta um projeto de *layout* industrial para uma empresa do ramo metal-mecânico, que procura implantar os princípios e conceitos

Recebido em 13/04/2011 - Aceito em 29/07/2011.

RECEN	Guarapuava, Paraná	v. 13	nº 1	p. 45-71	jan/jun 2011
-------	--------------------	-------	------	----------	--------------

da Produção Enxuta. O objetivo é propor a reorganização da planta das instalações industriais da empresa em análise, utilizando princípios e ferramentas da Produção Enxuta para projetar o novo modelo de *layout*, visando à melhoria no processo produtivo e na eliminação de desperdícios. Primeiramente, buscou-se a caracterização do arranjo físico atual da organização, para, posteriormente, com a utilização de ferramentas, tais como o mapeamento do fluxo de valor e o balanceamento da produção desenvolver uma nova proposta de arranjo físico que se enquadrasse nos objetivos da empresa. Fatores como qualidade e fluxo contínuo também foram explorados para a construção desse novo modelo. No final, após analisados os resultados das ferramentas utilizadas, é apresentado o *layout* fabril ideal, demonstrando os benefícios e ganhos obtidos com o novo fluxo de produção.

Palavras-chave: fluxo de produção; *layout* industrial; produção enxuta.

Abstract: This paper presents an industrial layout design for a metal-mechanic company based on the principles and concepts of Lean Production. The aim is to propose a reorganization plan of the company's manufacturing facilities using the principles and tools of Lean Production to design the new layout, improving the production process and waste disposal. Firstly, the current layout of the organization was characterized, then, using tools such as the value stream mapping and the balancing of production, a new proposal for a layout according to the company's goals was developed. Factors such as quality and continuous flow were also explored for the construction of this new layout. After analyzing the results of the tools used, the ideal manufacturing industrial layout is shown, demonstrating the benefits and gains from new production flow.

Key words: industrial layout; lean production; production flow.

1 Introdução

O arranjo físico das instalações industriais possui grande impacto no desempenho produtivo das empresas. Um projeto de *layout* deve ser conduzido de forma eficaz,

desde o posto de trabalho do operador até a montagem final do produto, pois isso reflete diretamente nos resultados do negócio da organização.

Diante da forte concorrência no segmento metal-mecânico e das expectativas crescentes de clientes cada vez mais exigentes, a filosofia de Produção Enxuta propõe um caminho de adaptação dos sistemas produtivos às necessidades do mercado atual.

A Produção Enxuta combina as vantagens da produção de variedade de produtos (mix de produtos) e produção em massa (baixos preços). Para tanto, apoia-se, em particular, na reorganização de *layouts* produtivos, no treinamento para formação de trabalhadores multifuncionais e na padronização contínua das operações [1].

Dessa maneira, o projeto de *layout* tem resultado chave na implantação do sistema de Produção Enxuta, pois é a partir dele que se pode obter um fluxo de trabalho adequado com os produtos da organização, a eliminação de desperdícios e a disposição ótima dos meios de produção.

Dessa forma, o objetivo geral do artigo é propor a reorganização do arranjo físico das instalações industriais de uma empresa do ramo metal-mecânico, com base nos princípios e ferramentas da Produção Enxuta, aplicando o *layout* adequado às características de seus produtos, visando à melhoria no processo produtivo e eliminação de desperdícios.

2 Princípios da produção enxuta e os desperdícios de um sistema de produção

Os princípios da Produção Enxuta têm como objetivo aumentar a flexibilidade da empresa e capacitá-la para responder de forma rápida e eficiente às necessidades dos clientes. Os princípios são apresentados a seguir [2–4]:

1. Especifique o valor: é o ponto de partida e deve ser definido segundo a perspectiva dos clientes finais. Deve-se começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos e serviços específicos.

2. Identifique a cadeia de valor: consiste em identificar o conjunto de todas as atividades para se levar um produto específico a passar pelas tarefas de desenvolvimento

(da concepção ao lançamento), de gerenciamento da informação (recebimento do pedido à entrega), e de transformação física propriamente dita (da matéria prima ao produto acabado).

3. Organize o fluxo de valor de forma a obter um fluxo fluente: é necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor.

4. Estabeleça uma produção puxada: é fazer o que os clientes (internos e externos) precisam no momento certo, permitindo que o produto seja puxado quando necessário.

5. Busque a perfeição: Nesse caso, é fazer com que os princípios destacados anteriormente sejam seguidos em um processo contínuo, ininterrupto, de melhoria. Isso se torna possível porque, ao dar condições para que o fluxo de valor flua, sempre ocorrerá uma exposição dos desperdícios ocultos, abrindo a possibilidade para se realizar novas melhorias.

A figura 1 apresenta um comparativo entre as atividades que agregam e não agregam valor para um produto com apenas duas operações de transformação.



Figura 1. Tempo das atividades que agregam e não agregam valor ao produto[4]

A figura 1 mostra que quanto maior o número de operações maior a tendência em aumentar a disparidade entre o tempo de agregação e o tempo de não agregação de valor ao produto.

2.1 Ferramentas de produção enxuta

1. Balanceamento da linha de produção

O balanceamento da linha de produção consiste na atribuição de tarefas às estações de trabalho que formam a linha, de forma que todas as estações demandem aproximadamente o mesmo tempo para execução das tarefas a elas destinadas. Isso minimiza o tempo ocioso de mão-de-obra e de equipamento.

2. Mapeamento de Fluxos de Valor (MFV)

O MFV é um método simples de modelagem de empresas com um procedimento para a construção de cenários de manufatura, que leva em consideração tanto o fluxo de materiais como o fluxo de informações. Por este motivo é considerada uma ferramenta imprescindível para o processo de visualização da situação atual da organização e construção da situação futura [5].

3. O Evento Kaizen - melhora contínua

O Evento Kaizen é uma importante ferramenta utilizada pela Toyota para promover a mudança. O efeito cumulativo das melhorias de pequena escala é frequentemente maior que uma simples melhoria de grande escala. É na implementação dessas melhorias de pequena escala que se encontram os Eventos Kaizen [6].

Um Evento Kaizen é um projeto intenso, focado e de curto prazo para melhorar um processo. Um evento normalmente inclui treinamentos, análises da situação atual, projetos da situação futura, modificações de processos, de produtos e de áreas. Esse tipo de evento ocorre normalmente em um período de 3 a 8 dias com uma equipe formada por pessoas de diversas áreas.

Durante o período do Evento Kaizen, a equipe se dedica durante todo tempo às atividades relacionadas ao evento. O apoio da alta gerência deve estar presente antes, durante e após o Evento Kaizen. A equipe Kaizen precisa da alta gerência para a aprovação de mudanças e remoção de obstáculos.

A movimentação dos equipamentos, para os lugares definidos num projeto de *layout*, pode depender da movimentação dos equipamentos que estão posicionados nesses locais. Destaca que em um projeto de reorganização de *layout*, os departamentos não podem ser movidos para os locais definidos até que os ocupantes dos locais

não sejam realocados. Além disso, tendo por base o custo de movimentação, deve-se buscar reduzir os custos de implantação do *layout* pela estruturação de um projeto de mudança [7].

4. Kanban

Kanban é o controle de inventário por cartões usado no sistema puxado. Cada cartão identifica o componente e indica de onde ele veio e para onde ele vai. Nesse sistema, o processo anterior só produz aquilo que foi retirado pelo processo subsequente. O principal benefício do sistema Kanban é eliminar (ou minimizar) o mais grave dos sete desperdícios: a superprodução.

Deve-se buscar uma maneira para que um processo fabrique somente o que o próximo processo necessita, sem deixar faltar produtos e diminuindo o *lead-time*, aumentando a qualidade e diminuindo o custo [8].

As áreas onde componentes, *kits* de montagem e produtos acabados são armazenados são chamadas de supermercado no sistema Kanban. Em um supermercado Kanban, deve ser obedecida a ordem FIFO (*First-In, First-Out*), para evitar a obsolescência dos itens.

Esses supermercados nada mais são do que um estoque organizado de material, e devem ser reduzidos ao máximo (se possíveis eliminados). Com a redução de estoque, problemas emergirão como fluxo de material inconsistente, capacidade produtiva, dentre outros. Se a segurança do estoque do Kanban é muito alta, o trabalho torna-se monótono; se é muito baixa, problemas ocorrerão o tempo todo, e o trabalho torna-se desmotivador. Então, é necessário encontrar um ponto ideal de estoque para viabilizar o sistema de cartões.

5. Cartas de Relacionamento

O método de Cartas de Relacionamento é uma ferramenta da Produção Enxuta utilizada para elaboração de *layouts*, que analisa a relação de importância entre as atividades ou seções. Para fazer a análise do ambiente, deve-se coletar informações sobre as relações entre as áreas requeridas por departamentos, o fluxo de produção de material e construir o arranjo físico esquemático atual, para que no futuro seja possível ajustar e desenvolver uma nova proposta de *layout* fabril.

Primeiramente, tem-se que observar a instituição e depois montar o diagrama de

relacionamentos. Para a elaboração de uma proposta de *layout*, utilizando o algoritmo de cartas de relacionamento, deve-se seguir alguns passos desse método, descritos a seguir [9]:

- Passo 1: Selecionar a primeira seção a entrar no *layout* “A”. A seção com maior número de “A” é selecionada e colocada no centro do *layout*. Regra para desempate: o maior nº de “E”, o maior nº de “I”, o menor nº de “X”.
- Passo 2: Selecionar a segunda seção a entrar no *layout*. A seção deve ter um relacionamento do tipo “A” com a primeira seção já selecionada. Regra para desempate: regra de desempate do passo 1.
- Passo 3: Selecionar a terceira seção a entrar no *layout*. A seção deve ter a mais alta combinação de relacionamentos com as duas seções já selecionadas. Regra para desempate: regra de desempate do passo 1
- Passo “n”: selecione a seção “n”. Segue o mesmo processo do passo 3.

2.2 Arranjo físico

Para garantir um sistema de manufatura mais enxuto e mais eficiente, um bom projeto de arranjo físico torna-se fundamental, resultando o sucesso de uma empresa no mercado competitivo.

Com o passar dos anos, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas para definir os tipos de arranjos físicos mais adequados a um ou outro processo produtivo, métodos e algoritmos para auxiliar na análise e formação desses arranjos físicos e modelos de processo para orientação de trabalho. Com a evolução da informática, surgiram muitos sistemas computacionais de apoio ao projeto de arranjo físico que implementam diversos desses algoritmos e métodos.

Na literatura, podem ser encontrados diversos tipos de arranjo físico, cada qual com suas vantagens, aplicações e restrições. A grande maioria é derivada de quatro tipos básicos ou é uma combinação dos mesmos: arranjo físico posicional, arranjo físico por processo, arranjo físico celular, arranjo físico por produto [9].

1. Arranjo físico posicional

O *layout* por posição fixa difere do conceito dos outros *layouts*, pois nesses o material é levado até as estações de trabalho, ao passo que no *layout* posicional as estações de trabalho são movimentadas até os materiais. Esse é um tipo muito particular de *layout* e, normalmente, é utilizado na fabricação de produtos de grande porte ou produtos que permanecerão fixos no local de fabricação. Exemplo: prédios, pontes, navios e aviões [9].

2. Arranjo físico por produto

O arranjo físico por produto é também denominado arranjo físico em linha de produção (ou linha de montagem). Nesse arranjo os recursos transformadores são alocados de modo a coincidir com a sequência na qual os produtos, clientes ou elementos de informação devem seguir para serem transformados, criando um fluxo unidirecional. Esse tipo de arranjo físico é utilizado em produtos de produção em massa, nos quais é mais barato deslocar o produto do que as máquinas e, ainda, o fluxo é muito claro e previsível, como por exemplo: restaurante *self-service*, montagem de automóveis e programa de vacinação em massa [9].

3. Arranjo físico por processo

O arranjo físico por processo, também conhecido como arranjo físico funcional, é caracterizado pelo agrupamento de equipamento e máquinas que desempenham o mesmo processo em um mesmo espaço físico denominado seção ou departamento. Sendo assim, o material em transformação percorrerá um roteiro de um departamento a outro, para que as operações necessárias a sua transformação sejam realizadas. Esse é um tipo de arranjo físico que surgiu com a primeira revolução industrial, e é a forma mais antiga de organização de recursos de produção. Esse tipo de arranjo físico é indicado quando não é possível fazer uma linha porque o volume e a variedade são muito altos [10].

4. Arranjo físico celular

Esse tipo de arranjo processa de forma otimizada uma família de produtos similares, que passam pelos mesmos processos de fabricação. Para esse arranjo, deve ser considerada a demanda e o lote de movimentação de cada família de produtos, dando prioridade àquelas famílias com maior movimentação. Estas devem ser definidas atra-

vés da sequência de processos que percorrem, da sua forma geométrica, composição de material, requisitos de ferramental, movimentação, armazenamento ou controle ou qualquer outro tipo de similaridade.

Os recursos de transformação requeridos para cada família são definidos e colocados em uma célula. Observa-se que o fluxo é muito mais simples que o fluxo do arranjo físico por processo, porque se aproxima de um padrão de fluxo unidirecional, como um arranjo físico de linha, não gerando, ou minimizando, contra fluxos [10]. Exemplos de arranjo físico celular incluem: áreas para produtos específicos em supermercados, empresas fabricantes de peças para indústria automotiva e lojas de departamento.

3 Procedimentos metodológicos

O presente trabalho é um estudo de caso realizado em uma empresa do ramo metal mecânico, localizada no município de Carazinho, RS. Sua principal atividade é a industrialização de implementos rodoviários, principalmente de caçambas basculantes, bem como montagem de furgões e revenda de semi-reboques, segundo eixo direcional e terceiros eixos. Também conta com serviços de alinhamento de chassi, mecânica e outros, bem como toda linha de peças e acessórios para caminhões, carrocerias e caçambas. Nos últimos anos, a empresa tem apostado numa linha de produtos voltados para a agricultura de precisão, com tecnologias que vão ao encontro das necessidades dos produtores, como espalhadores de calcário, além de sistemas *roll on - roll off*, pranchas e *containeres*.

Para o desenvolvimento deste trabalho, criou-se um fluxograma referente aos métodos e materiais que serão utilizados, que está representado na figura 2.

3.1 Mapeamento dos processos e avaliação atual

Inicialmente, na etapa de levantamento de dados da empresa em estudo, buscou-se as informações necessárias referente aos últimos 12 meses do período produtivo anteriores a maio/2010. Dessa forma, realizou-se um histórico dos modelos e das quantidades dos produtos que foram comercializados nesse período e também o fatu-

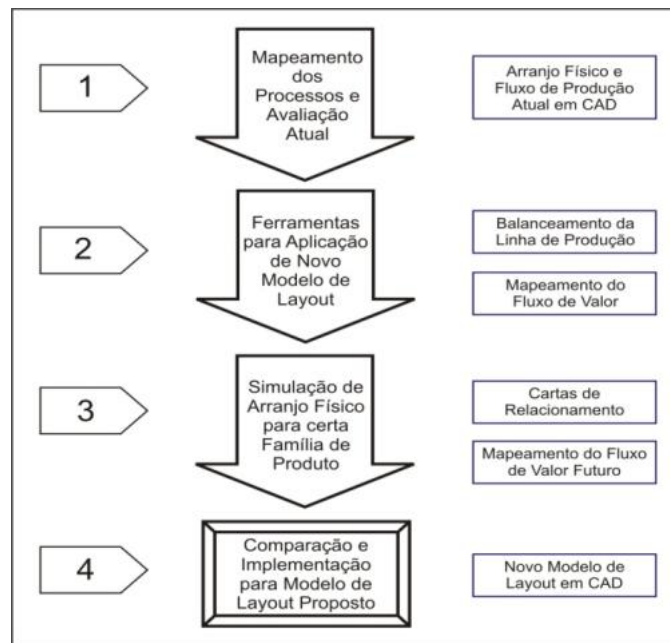


Figura 2. Fluxograma de métodos e materiais

ramento que cada um representou para a organização. A partir dessas informações, definiu-se a família de produtos para o desenvolvimento desse projeto.

No decorrer desse período, com a utilização dos *softwares* SolidWorks® e AutoCAD®, foi desenvolvido o arranjo físico do modelo atual da empresa. Tal modelo de *layout* atual possui a representação das plantas, fluxos e distâncias entre as duas unidades da fábrica que serão utilizadas neste trabalho, ou seja, Fábrica 1 e Fábrica 2, que são as unidades responsáveis pelo processamento de peças e pela montagem dos produtos, respectivamente.

Posteriormente, foram analisados todos os processos produtivos existentes na organização para a fabricação de seus implementos, para que, em seguida, fosse realizado o estudo de tempos e movimentos, determinando o tempo de ciclo total para o processamento das peças e para a montagem dos componentes; sendo essa informação primordial para estabelecer o número de operadores necessários em todos os setores e atingir a capacidade produtiva máxima sem haver desperdícios de tempo e de mão-de-obra.

Com base nesses dados foi realizado o fluxograma do processo atual, que serve

como base para o estudo e melhoria do arranjo físico da organização, uma vez que os produtos fabricados são similares, passando praticamente pelos mesmos processos produtivos.

3.2 Ferramentas para aplicação de novo modelo de *layout*

Nessa fase, foram aplicadas algumas das ferramentas de Produção Enxuta, tais como Balanceamento da Linha de Produção, o Mapeamento do Fluxo de Valor, o Kanban, e, posteriormente, as Cartas de Relacionamento, com o objetivo de determinar o estado de produção atual da empresa e auxiliar no desenvolvimento de uma nova proposta de modificação do *layout*.

Como resultados da aplicação dessas ferramentas, obtiveram-se a determinação do tempo de ciclo desejável para o produto em análise, conforme a demanda, a determinação da quantidade de estações de trabalho para o novo modelo de arranjo físico, os valores de ociosidade presentes nas operações, o nível de utilização de uma linha de produção, entre outros.

3.3 Simulação de arranjo físico para certa família de produto

Primeiramente, para essa etapa, determinou-se a família de produto que seria utilizada como base para realizar a simulação do novo modelo de arranjo fabril. Como os produtos fabricados possuem um alto grau de similaridade de processos, escolheu-se como produto base aquele que apresentava maior expressividade financeira para a empresa, conforme item 3.1. Dessa maneira, a família de produto escolhida para o estudo foi a linha de Caçambas Basculantes *Standard*.

Para a fase de simulação, trabalhou-se juntamente com a ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro. Para o desenvolvimento dessa ferramenta, foram utilizados dados referentes à família de produto base do trabalho, ou seja, a caçamba *standard*. Como resultado da aplicação dessa ferramenta, pode-se simular um arranjo físico futuro para as Fábricas 1 e 2 que atenderam a todos os métodos e objetivos da empresa.

3.4 Comparação e implementação para o modelo de *layout* proposto

Partindo do resultado da simulação de um modelo de arranjo físico, nessa etapa, efetuou-se a comparação deste com o *layout* atual da organização. Levando em consideração os dados atuais adquiridos do modelo atual, deve-se obter novas informações de tempos, métodos e distâncias em relação ao modelo de *layout* proposto, para então realizar a análise comparativa entre os dois modelos, que finalizará na implantação do arranjo que apresenta os melhores resultados considerando os objetivos da empresa.

Nesse estágio será consolidada a implantação do *layout* proposto, buscando o envolvimento entre todos os setores da organização. Durante a etapa de alteração, realiza-se um acompanhamento com todos os *stakeholders*, destacando as vantagens desse novo modelo e fazendo possíveis ajustes na implantação.

4 Apresentação e análise dos resultados

4.1 Caracterização do *layout* atual

Para a caracterização do *layout* atual das unidades fabris 1 e 2 da empresa foram levantadas as dimensões físicas das fábricas. Com essa informação, gerou-se o arranjo físico do estado atual da organização.

No *layout* da Fábrica 1, existe uma área destinada à fabricação de implementos agrícolas. Por ser um item com processos de montagem diferenciados e possuir um *layout* próprio e adequado para sua produção, o produto não foi contemplado nesse projeto de melhoria do sistema produtivo. O arranjo físico da Fábrica 1 contém os postos de trabalho referentes à estamparia e à montagem do conjunto chassi e sobrechassi.

O *layout* da Fábrica 2 contém o setor de usinagem e os departamentos de montagem da família de produto caçamba *standard*, como a montagem da caçamba em si, o setor de hidráulica e o setor de elétrica.

A figura 3 mostra o fluxo entre as plantas da Fábrica 1 e 2 dos componentes da família do produto caçamba basculante *standard*.

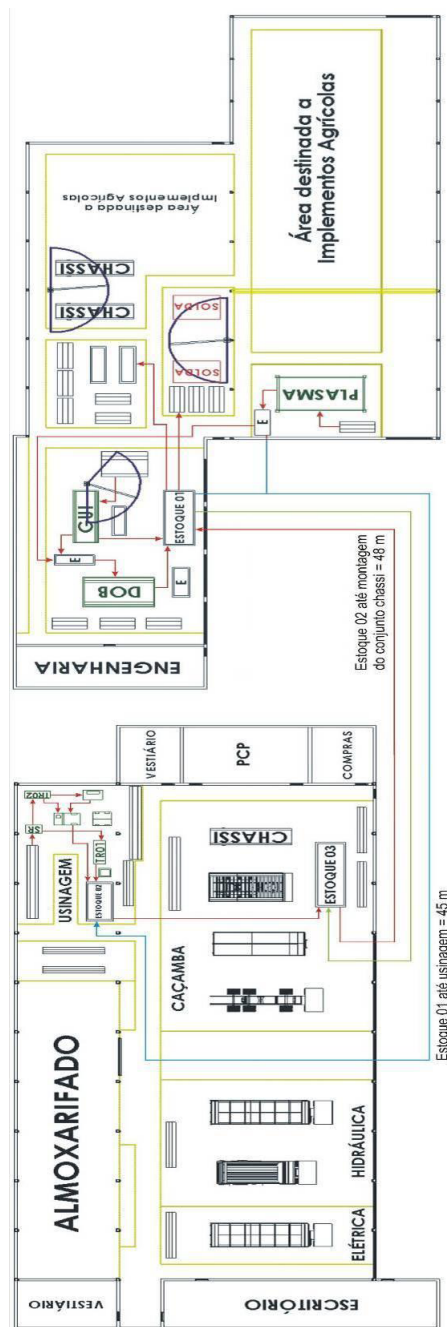


Figura 3. Fluxo de material atual entre as plantas da fábrica

No *layout* atual, verifica-se que os equipamentos estão dispostos de forma funcional e o produto é montado de forma posicional. Alguns problemas inicialmente

identificados decorrentes desse tipo de arranjo foram:

- Distanciamento entre os postos de trabalho;
- Dificuldade de manter uma gestão visual da fábrica;
- Dificuldade em se identificar os gargalos do processo;
- Elevado desperdício em transporte de componentes.

No que diz respeito ao fluxo entre fábricas, os principais problemas/desperdícios identificados foram:

- Custo de movimentação: para movimentar os componentes entre as empresas é utilizada uma camionete para transporte.
- Esperas: com grande frequência, os materiais a serem transportados ficam parados aguardando o responsável pela movimentação de peças.
- Falta de peças: muitas vezes a montagem de componentes na Fábrica 1 parava aguardando a chegada de peças da Fábrica 2.
- Excesso de movimentação de pessoas: devido ao atraso no transporte de peças durante a montagem de subconjuntos, funcionários se deslocam de uma fábrica à outra para buscarem manualmente os componentes faltantes.

O percurso dessas peças é considerado o caminho mais crítico existente entre os processos de fabricação da empresa. Por isso, o processamento dessas peças, que compõem o chassi da caçamba, foi escolhido para o desenvolvimento do mapeamento do fluxo de valor, que será descrito no próximo item.

4.2 Mapeamento do fluxo de valor da situação atual

O MFV escolhido neste trabalho foi o caminho do processamento das peças mais crítico dentro da empresa. Esse caminho envolve três peças do conjunto chassi e sobrechassi de todos os modelos de caçambas.

Para o desenvolvimento do mapeamento do fluxo de valor, foi coletado o tempo de cada operação dos funcionários envolvidos nesse processo. Esses tempos foram dispostos em minutos e estão separados em quatro funções na figura 4: transporte, inspeção, processamento e estoque. A figura ainda apresenta o tempo total dos 15 passos que essas peças atravessam e os valores em porcentagem de cada uma das quatro funções.

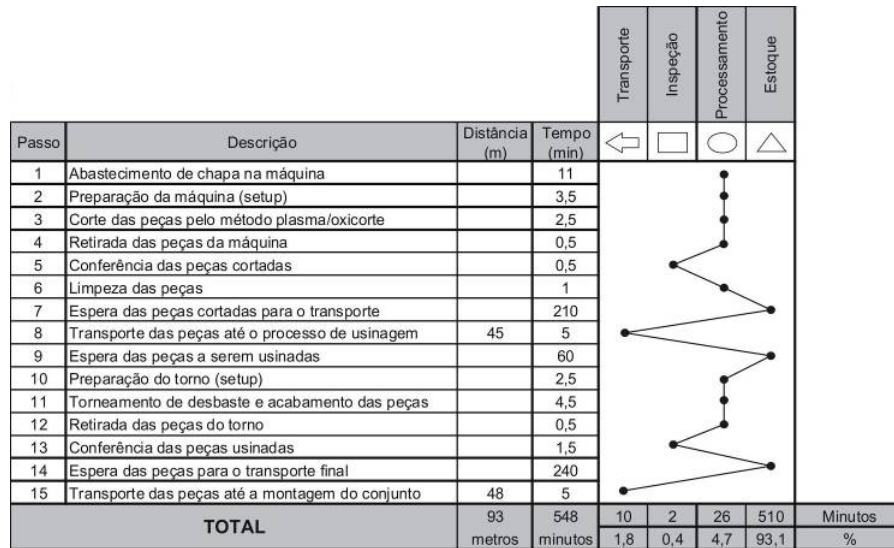


Figura 4. Diagrama das atividades de processamento das peças mapeadas

Conforme valores da figura 4, pode-se analisar que o processamento das peças, do corte até o transporte para a montagem do conjunto, tem como tempo total 548 minutos. Observa-se também que o tempo das peças em estoque é demasiadamente elevado, resultando em 93,1% do tempo total, sendo que o tempo de processamento é 4,7%, tempo de inspeção 0,4% e o tempo de transporte é 1,8%.

A figura 5 apresenta o Mapeamento do Fluxo de Valor da situação atual, conforme dados da figura 4. Nota-se uma grande disparidade entre o tempo de agregação de valor e o *lead time* total dos processos.

Outro fator a ser analisado na figura 4 é a distância entre os setores. O setor de estamparia se encontra a 45 metros do setor de usinagem, e o setor de usinagem a 48 metros do setor de montagem dos conjuntos. Essas distâncias percorridas pelos materiais são muito altas, gerando grandes estoques intermediários e elevando o tempo

de ciclo das peças.

No mapeamento do fluxo de valor da figura 5, conclui-se que o fluxo para em inúmeros pontos (não existência de um fluxo contínuo): como se observou não existia nenhum ponto onde o material fluía. Ao contrário, existiam diversos pontos de estoque em processo onde o tempo de fila é elevado. O desbalanceamento entre as operações e a falta de padrão de priorização de ordens são algumas das fontes que geram as paradas no fluxo de produção.

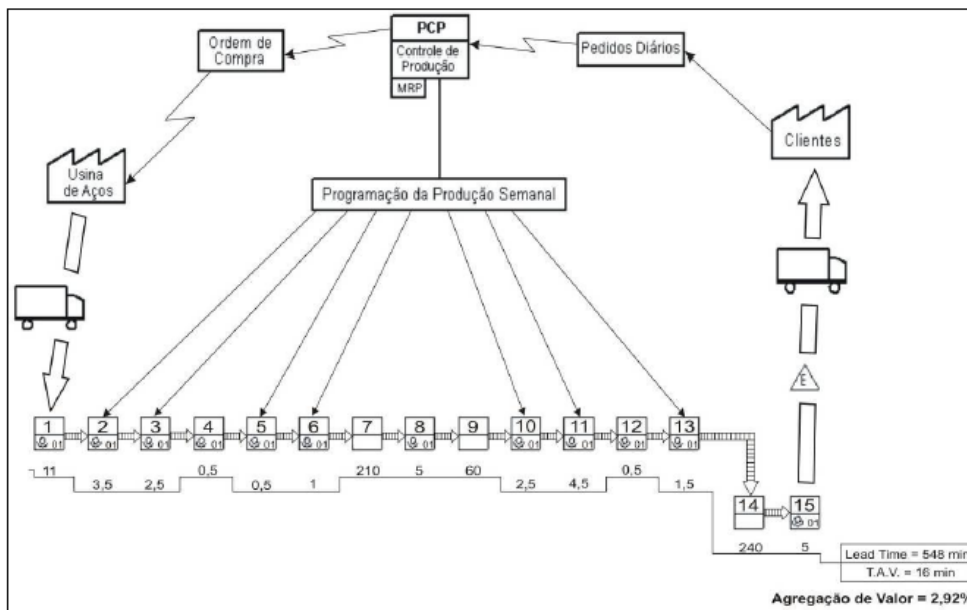


Figura 5. Mapa de agregação de valor do modelo atual

4.3 Balanceamento da linha de produção

4.3.1 Balanceamento atual e futuro

O balanceamento de linhas atuais da família do produto utilizado no presente trabalho foi realizado, considerando todas as operações de montagem existentes no conjunto do produto caçamba basculante *standard*, como podem ser observadas na figura 6.

Tempo de Montagem Caçamba Standard Carmetal							
Operação	Componente	Tempo (min)	Operadores	Tempo por Operador	Tempo Disponível	Tempo Ocioso	% de Utilização
1	Sobrechassi	101	2	50,5	181,5	131	28%
2	Chassi	65	2	32,5	181,5	149	18%
3	Montagem do Conjunto	35	2	17,5	181,5	164	10%
4	Caçamba	Assoalho	4	29,5	181,5	152	16%
5		Frontal	4	9,75	181,5	171,75	5%
6		Lateral	4	57,75	181,5	123,75	32%
7		Tampa Traseira	4	21,75	181,5	159,75	12%
8	Instalação no Caminhão	47	2	23,5	181,5	158	13%
9	Instalação Hidráulica	363	2	181,5	181,5	0	100%
10	Pintura	147	2	73,5	181,5	108	40%
11	Instalação Elétrica	98	2	49	181,5	132,5	27%
12	Expedição	26	1	26	181,5	155,5	14%
TOTAL		1357	13	Taxa de Saída = 1,5 Caçamba / dia			

Figura 6. Informações da montagem da caçamba standard

Na figura 6, a tarefa mais longa tem duração de 363 minutos. Como se trabalha com dois funcionários nesse setor, o tempo por operador resulta em 181,5 minutos. Isso significa que cada operador teria 181,5 minutos para desenvolver o seu trabalho na montagem da caçamba, já que é a operação mais lenta que determina o ritmo das demais, pelo menos daquelas que ocorrem depois dela, pois as anteriores geram estoques no início desse “gargalo” de produção.

Como dado referencial da empresa, determina-se que os cálculos referentes ao balanceamento da linha de produção assumam 8 horas diárias de trabalho por operador. Transformando-se em minutos, tem-se 480 min. Na figura 6, a meta diária de trabalho da empresa, gira em torno de 1,5 caçambas *standard* por dia. Essa é a taxa de saída atual da fábrica.

Dessa maneira, tem-se o cálculo de tempo de ciclo: $TC = 480 \text{ min} / 1,5 = 320$ minutos.

Assim, assume-se como tempo de ciclo o valor de 320 minutos. Após encontrar o tempo de ciclo operacional da montagem do produto, torna-se necessário dividir as operações em estações de trabalho, formando grupos para cada estação. Assim: Estações de Trabalho = $1357 \text{ min} / 320 \text{ min/un} = 4,24 = 5$ estações. Como resultado do balanceamento da linha atual, tem-se a divisão dos processos em 5 estações de trabalho.

Esse resultado foi determinado, para atingir o melhor balanceamento dos processos atuais da empresa. Porém, como o objetivo é o aumento da produção, para

o balanceamento futuro, deve ser elevada a meta diária de trabalho. Dessa forma, foi previsto um aumento na capacidade produtiva da empresa em 1/3, ou seja, 33,34 %. Com esse aumento na produção, a taxa de saída da empresa passou de 1,5 para 2 caçambas *standard* por dia. Para que a nova meta fosse atingida, foram refeitos os cálculos de balanceamento: $TC = 480 \text{ min} / 2 = 240 \text{ minutos}$.

A partir desse novo balanceamento das atividades, tem-se que a divisão dos processos de montagem da caçamba será em 6 estações de trabalho. De acordo com:

Estações de Trabalho = $1357 \text{ min} / 240 \text{ min/un} = 5,65 = 6 \text{ estações}$. Com essa divisão, os processos tiveram o balanceamento de linhas corrigido, resultando em melhor aproveitamento de mão-de-obra.

A figura 7 mostra o balanceamento proposto para as atividades de montagem da empresa.

Comparando a nova proposta de balanceamento com a atual nota-se que apenas foram ajustadas as estações de trabalho e rearranjados as quantidades de operadores por estação, sendo que nenhum trabalho de redução de tempos de montagem foi realizado.

Tempo de Montagem Caçamba Standard Carmetal							
Operação	Componente	Tempo (min)	Operadores	Tempo por Operador	Tempo Disponível	Tempo Ocioso	% de Utilização
1	Sobrechassi / Chassi / Montagem Conjunto	201	2	100,5	124,00	23,50	81%
2	Assoalho / Frontal / Tampa Traseira	244	2	122	124,00	2,00	98%
3	Lateral da Caçamba	231	2	115,50	124,00	8,50	93%
4	Instalação no Caminhão / Instalação Hidráulica	410	4	102,50	124,00	22	83%
5	Pintura	147	2	73,5	124,00	50,50	59%
6	Instalação Elétrica / Expedição	124	1	124	124,00	0,00	100%
	TOTAL	1357	13	Taxa de Saída = 02 Caçamba / dia			

Figura 7. Balanceamento proposto para a montagem da caçamba standard

Como pode ser visualizado na figura 7, as atividades estão com um balanceamento compatível com os objetivos da organização, pois estão gerando poucos tempos em vazio e elevado aproveitamento de recursos. Essa nova proposta de balanceamento para a montagem da caçamba será utilizada no desenvolvimento do novo

layout fabril, auxiliando na reorganização de operadores e equipamentos das fábricas da empresa.

4.4 Cartas de relacionamento

Para a aplicação dessa ferramenta no desenvolvimento do novo *layout* fundamentado na Produção Enxuta, desenvolveu-se primeiramente o Diagrama Sequencial das atividades necessárias para a produção da família do produto caçamba *standard*, que é apresentado na figura 8. Esse digrama foi desenvolvido pois abrange um número maior de setores dentro da empresa, incluindo os processos de montagem, para que esses departamentos sejam reposicionados no modelo de *layout* futuro.

A figura 8 apresenta o diagrama com todos os processos responsáveis pela fabricação do implemento caçamba *standard*, desde o estoque de matéria-prima até a expedição do produto. As setas destacadas indicam por onde passa o maior volume de produção entre os setores.

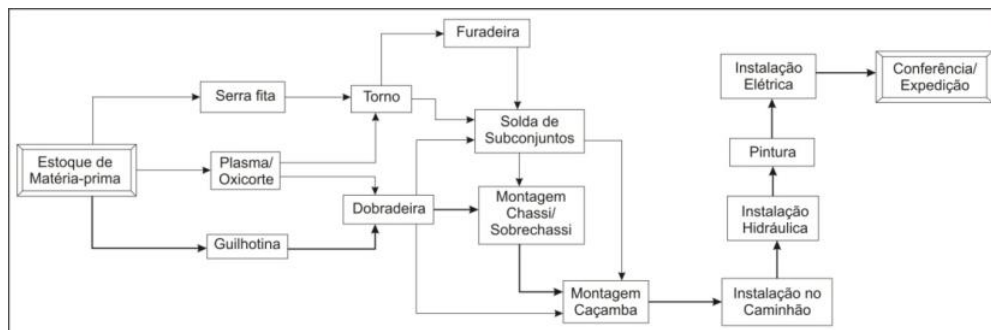


Figura 8. Diagrama do fluxo de produção do produto em análise

Para o desenvolvimento da nova proposta de arranjo físico, utilizou-se o método algorítmico denominado Método de Relacionamentos, que é baseado na relação de proximidade entre os recursos da empresa, que são necessários para a confecção da família do produto em análise.

Para execução do Método de Relacionamentos, foi observada a relação de proximidade entre os setores da organização e, posteriormente, considerou-se o fluxo de material entre os departamentos de produção. Observou-se o volume de componen-

tes envolvidos na produção da família de produto caçamba *standard* e identificou-se o fluxo, em porcentagem, que ocorre de um setor para outro.

Na figura 9, está representado o diagrama de relacionamentos entre os setores produtivos, considerando o fluxo de material entre setores, com valores em porcentagem.

Observou-se que os departamentos que possuem maior fluxo de produção necessitam ficar mais próximos uns dos outros. Levando em consideração o modelo de *layout* atual, nota-se que alguns setores que possuem um fluxo considerável entre si estão muito longe, como é o caso da máquina de plasma/oxicorte com a máquina de torno (volume de 25%), ou com a máquina de torno e o setor de solda de subconjuntos (volume de 20%).

Essa distância existente entre os setores, na planta fabril atual, gera enormes desperdícios na parte de transporte e movimentação de componentes e de funcionários, pois existe um fluxo de produção grande entre os departamentos que se encontram muito afastados, estando o setor de corte na Fábrica 1 e o setor de usinagem na Fábrica 2.

	Estoque de Matéria-prima	Serra fita	Plasma/Oxicorte	Guilhotina	Torno	Furadeira	Dobradeira	Solda de Subconjuntos	Montagem Chassi/Sobrechassi	Montagem Caçamba	Instalação no Caminhão	Instalação Hidráulica	Pintura	Instalação Elétrica	Conferência/Expedição	Fluxo entre Setores (%)
Estoque de Matéria-prima	-	20	30	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%
Serra fita		-	0	0	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%
Plasma/Oxicorte			-	0	25	10	55	5	5	0	0	0	0	0	0	100%
Guilhotina				-	0	10	55	15	10	10	0	0	0	0	0	100%
Torno					-	50	0	20	15	15	0	0	0	0	0	100%
Furadeira						-	0	50	15	15	15	5	0	0	0	100%
Dobradeira							-	20	20	60	0	0	0	0	0	100%
Solda de Subconjuntos								-	30	70	0	0	0	0	0	100%
Montagem Chassi/Sobrechassi									-	100	0	0	0	0	0	100%
Montagem Caçamba										-	100	0	0	0	0	100%
Instalação no Caminhão											-	100	0	0	0	100%
Instalação Hidráulica												-	100	0	0	100%
Pintura													-	100	0	100%
Instalação Elétrica														-	100	100%
Conferência/Expedição															-	

Figura 9. Diagrama de Relacionamentos com o fluxo de produção

Conforme análise do diagrama da figura 9 e do *layout* atual das Fábricas 1 e 2 da empresa em estudo, conclui-se que, devido ao elevado volume de material existente entre os processos de corte e de usinagem, esses setores devem estar próximos um do outro na nova proposta de arranjo físico. Assim, os desperdícios de transporte, estoques intermediários e movimentações desnecessárias serão reduzidos drasticamente, resultando em menor tempo de ciclo do produto e, consequentemente, num aumento nos índices produtivos.

4.5 Mapeamento do fluxo de valor futuro

No mapeamento do fluxo de valor do estado futuro, foram inseridos “mercados” entre as operações, com a utilização de cartões Kanban. Com essa alteração, desenvolveu-se o sistema de produção “puxada”, no qual a entrada do pedido feito pelo cliente puxa todos os processos de produção. Dessa forma, os estoques intermediários são minimizados, pois é produzido somente o necessário, no tempo correto.

A figura 10 apresenta a sequência de atividades que as peças analisadas percorrem na nova proposta de arranjo físico. Como pode ser observado, foram inseridos dois “mercados” entre os processos desse mapa. Esses “mercados” foram instalados estrategicamente em pontos da produção, onde se concentravam os maiores estoques intermediários, os quais impediam o desenvolvimento de um fluxo contínuo e aumentavam o tempo de ciclo do produto.

Conforme a figura 10, entre os processos de corte e usinagem e os processos de usinagem e solda de subconjuntos, foi inserida a ferramenta de “mercado”. Essa ferramenta, juntamente com a utilização de cartões Kanban, possui o objetivo de alojar peças, de um processo para outro. Ao armazenar esses componentes, é colocado um cartão Kanban junto aos mesmos, descrevendo a quantidade de peças que estão no “mercado” e o estoque mínimo necessário para que essas peças sejam produzidas novamente sem atrasar nenhuma operação futura. Dessa maneira, somente serão produzidas essas peças novamente quando todas as outras que estiveram no “mercado” forem utilizadas, restando somente o estoque de segurança.

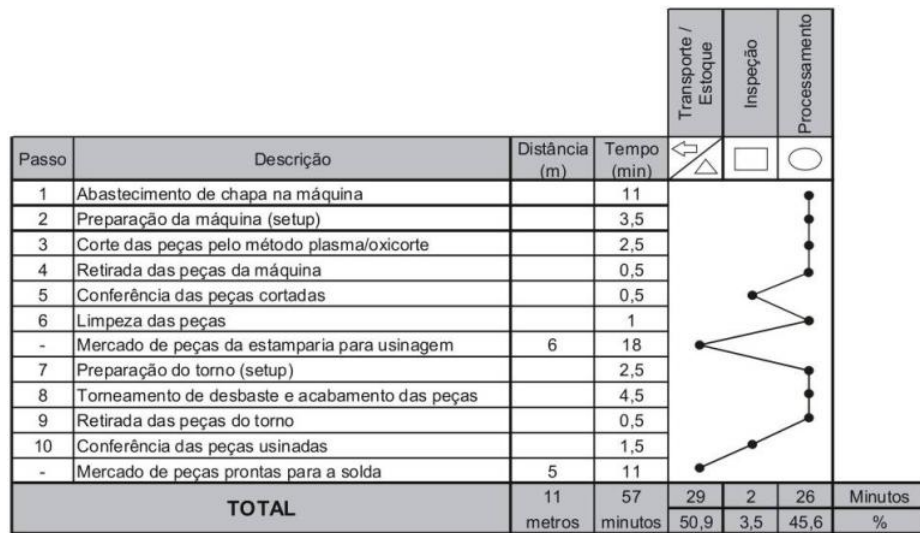


Figura 10. Diagrama das atividades do mapa futuro

Na figura 11, apresenta-se o mapeamento do fluxo de valor do estado futuro. Pode-se notar que minimizaram os estoques em processo, resultando na redução do *lead time* das peças em análise.

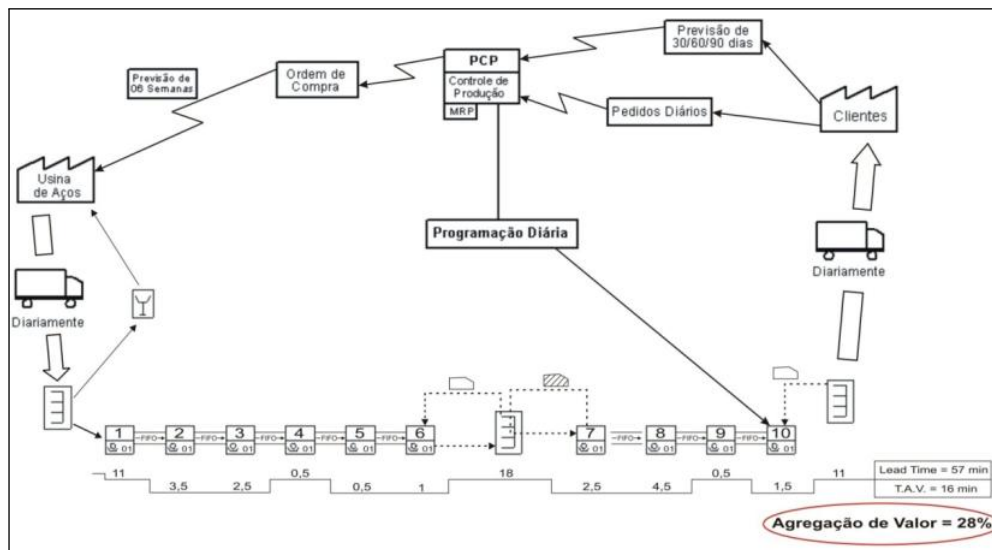


Figura 11. Mapa da agregação de valor do modelo futuro

Com a aplicação das ferramentas nesse mapeamento, o novo *lead time* resultou em 57 minutos, chegando-se a porcentagem de agregação de valor em 28%, sendo que no mapeamento atual esse valor era de 2,9%. Isso ocorreu devido à eliminação

de transporte por parte dos operadores e movimentação desnecessária de material. Dessa maneira, o MFV da figura 10 serve como base para que sejam criados e implementados novos mapas para outras famílias de peças, visando a um ciclo de melhorias.

4.6 Modelo de arranjo físico proposto

No modelo de *layout* proposto, a Fábrica 1 ficou responsável pelo processamento dos componentes de toda a empresa, sendo esse *layout* o modelo por processo, pois além do setor de estamparia, que já fazia parte dessa fábrica, o setor de usinagem foi deslocado da Fábrica 2 para a Fábrica 1.

Essa alteração do departamento de usinagem foi baseada no resultado de todas as ferramentas da produção enxuta aplicadas nesse trabalho. Com a proximidade entre esses setores, prevista na nova proposta de arranjo, alguns dos desperdícios mais relevantes encontrados na empresa puderam ser reduzidos e até eliminados, como é o caso do transporte desnecessário entre as fábricas e a movimentação de material em excesso. Assim, foi possível a diminuição no *lead time* dos componentes, resultando em maior agregação de valor ao produto.

A figura 12 mostra o arranjo físico proposto para a Fábrica 2 da empresa.

Nota-se que a unidade 2 tornou-se responsável pelos departamentos de solda de subconjuntos e montagem dos componentes, resultando num *layout* em linhas de montagem. Assim, a transferência de material entre as fábricas foi reduzida, pois nessa nova proposta, existe somente a movimentação de peças prontas, da Fábrica 1 para a Fábrica 2. Isso facilitou o serviço de transporte entre fábricas e o tornou muito eficiente, em comparação com o modelo antigo.

Os componentes que são processados na Fábrica 1 geram o estoque intermediário 1. Na medida em que essas peças são finalizadas, vão sendo transportadas para a Fábrica 2. As peças que serão utilizadas na solda de subconjuntos são levadas até o setor de solda na unidade 2, representado na figura 12 pela linha “azul”. As demais peças, que serão utilizadas na montagem da caçamba, são transportadas até o estoque intermediário 3, representado pela linha “vermelha”.

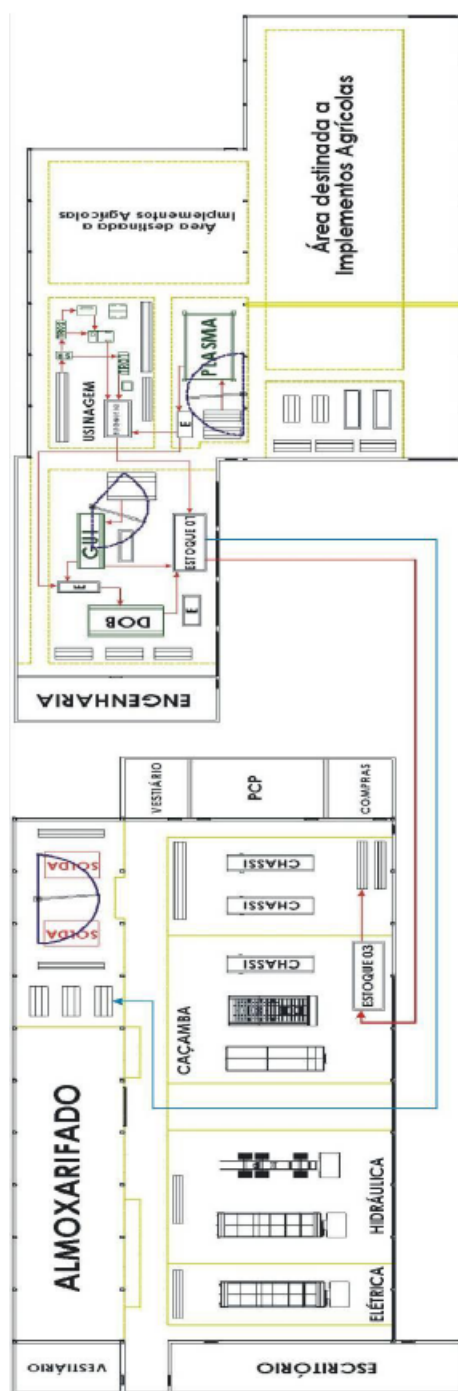


Figura 12. Fluxo entre fábricas no modelo de layout futuro

Como pode ser observado nos modelos de arranjo físico propostos, a nova disposição dos postos de trabalho possibilitou um fluxo de produção contínuo, direcionado para a agregação de valor do produto. Isso ocorreu devido à proximidade em que se encontram os setores, que possuem um elevado fluxo de material entre si, no novo *layout* fabril. Essas modificações nas plantas das Fábricas 1 e 2 da empresa em estudo tornam o arranjo fabril adequado as características específicas de seus produtos. Assim, com essa nova proposta, foi possível reduzir os principais desperdícios da empresa, atingir maior qualidade no trabalho entre departamentos e no produto final e elevar os índices de produção.

5 Considerações finais

A crescente concorrência de mercado do setor rodoviário juntamente com clientes cada vez mais exigentes leva as empresas a adotarem novas técnicas, para melhorar a qualidade de seus produtos e serviços e aumentar os índices de produção, gerando baixos custos. Como condição, para que uma empresa mantenha-se competitiva nesse mercado, a filosofia de Produção Exuta apresenta-se como um caminho de suporte, já que seu foco é a redução de desperdícios. Assim, com a utilização de suas técnicas e ferramentas, as empresas tornam-se mais preparadas para sobreviver e competir no mercado, pois sua produção possui maior eficiência e seu produto maior valor agregado.

Nos processos produtivos da empresa pode-se identificar, conforme a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor, que a produção não apresentava um fluxo contínuo, gerando estoques intermediários elevados e excesso de transporte de material. Conforme as alterações no *layout*, propostas pelo presente trabalho, desenvolveu-se o mapa futuro. O resultado foi a diminuição do *lead time* de produção de peças de 548 minutos para 57 minutos. Com isso, a agregação de valor no material subiu de 2,92% para 28%. Nesse novo mapa diminuiu-se ao máximo os estoques intermediários e a movimentação de material, pois, com a aplicação de cartões Kanban, a produção tornou-se “puxada” e atingiu-se o fluxo contínuo.

Com a aplicação da ferramenta de balanceamento da linha de produção foi possível redistribuir o trabalho entre setores e o número de operadores na linha de mon-

tagem da caçamba *standard*. Com isso, a taxa de saída da empresa passou de 1,5 caçamba/dia para 2 caçamba/dia, isso mantendo-se o mesmo número de funcionários que já existia nessa linha de montagem, ou seja, 13 operadores. Dessa maneira, foi possível um aumento na produção em 33,34% com o balanceamento das atividades e a divisão do trabalho em estações, gerando ótimo aproveitamento de mão-de-obra e eliminação de tempos em vazio.

A aplicação das técnicas e ferramentas da Produção Enxuta foram determinantes para a reestruturação do arranjo físico. A partir delas, pode-se construir um novo *layout* que atenda a todos os objetivos da organização. Essa nova proposta de arranjo fabril tornará a empresa muito mais competitiva no mercado, pois, se eleva o volume de produção, aumentando a eficiência na utilização de recursos, gerando maiores níveis de qualidade e reduzindo os desperdícios do sistema produtivo.

Baseado no que foi apresentado, pode-se concluir que o arranjo físico proposto neste trabalho contém todos os requisitos necessários para que a empresa possa alcançar seus objetivos. Dessa forma, comprova-se que o arranjo físico e as técnicas e ferramentas da Produção Enxuta são elementos fundamentais na busca de melhores resultados em produção e em aumento de ganhos por meio da eliminação de desperdícios.

6 Referências

- [1] MILTENBURG, J. Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *Eur J Oper Res*, v.109, p. 1-23, 1998.
- [2] BULLINGTON, K. E. 5S for suppliers. *Qual Prog*, v.36, 2003.
- [3] SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- [4] WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York, Simon & Schuster, 1996.
- [5] RENTES, A. F.; QUEIROZ, J. A.; ARAUJO, C. A. C. Transformação enxuta:

- Aplicação do mapeamento do fluxo de valor em uma situação real. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis-SC, 2004.
- [6] PERIN, P. C. Metodologia de padronização de uma célula de fabricação e de montagem, integrando ferramentas de produção enxuta. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- [7] LACKSONEN, T. Project scheduling for re-layout projects. In: 1994. *Industrial Engineering Research Conference*, Atlanta, GA, 1998.
- [8] ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar. Ed. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 1998.
- [9] SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. Ed. Atlas, São Paulo, 2007.
- [10] GONÇALVES FILHO, E. V. Arranjo físico. Apostila da disciplina de Projeto de Sistemas de Manufatura. Universidade de São Paulo, 2005.

